

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) RU (11) **127 235** (13) U1

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
(51) МПК  
[G21C 3/06 \(2006.01\)](#)

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

Статус: действует (последнее изменение статуса: 19.11.2018)  
Пошлина: учтена за 7 год с 21.11.2018 по 20.11.2019

(21)(22) Заявка: [2012149054/07](#), 20.11.2012(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
20.11.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 20.11.2012

(45) Опубликовано: [20.04.2013](#) Бюл. № 11

Адрес для переписки:

123060, Москва, а/я 369, ОАО "ВНИИИМ",  
ОКИС

(72) Автор(ы):

Митрофанова Нина Михайловна (RU),  
Леонтьева-Смирнова Мария  
Владимировна (RU),  
Иванов Юрий Александрович (RU),  
Чурюмова Татьяна Анатольевна (RU),  
Васильев Борис Александрович (RU),  
Фаракшин Мансур Рахимжанович (RU),  
Сараев Олег Макарович (RU),  
Ошканов Николай Николаевич (RU),  
Чуев Владимир Васильевич (RU),  
Бычков Сергей Анатольевич (RU),  
Ильяшик Михаил Иванович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Открытое акционерное общество  
"Высокотехнологический научно-  
исследовательский институт  
неорганических материалов имени  
академика А.А. Бочвара" (RU)

## (54) ТВЭЛ РЕАКТОРА НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

(57) Реферат:

1. ТВЭЛ реактора на быстрых нейтронах, содержащий цилиндрическую оболочку, которая герметизирована по торцам концевыми деталями, внутри оболочки размещено таблетированное ядерное топливо и фиксатор топлива, на наружной поверхности оболочки размещена навитая по спирали дистанционирующая проволока, отличающийся тем, что оболочка выполнена из аустенитной стали, содержащей компоненты при следующем соотношении, мас. %:

|          |                |
|----------|----------------|
| углерод  | 0,05-0,09      |
| кремний  | 0,3-0,6        |
| марганец | 1,0-2,0        |
| сера     | не более 0,010 |
| фосфор   | 0,010-0,025    |
| хром     | 15,0-16,5      |
| никель   | 18,0-25,0      |
| молибден | 1,9-2,5        |
| титан    | 0,25-0,45      |
| ниобий   | 0,1-0,4        |
| ванадий  | 0,1-0,15       |
| бор      | 0,001-0,005    |

причем оболочка получена путем циклического нагрева, горячей и холодной деформации с гомогенизирующим отжигом перед горячей деформацией при температуре на 40-110°C ниже температуры образования боридной эвтектики, но выше температуры, при которой содержание бора в твердом растворе не менее 20 ppm ( $20 \cdot 10^{-4}$  мас.%), оболочка имеет при 700°C при одноосном осевом растяжении предел длительной прочности 14-15 кг/мм<sup>2</sup> при времени испытания 10000 ч и максимальную величину распухания при повреждающей дозе 96 смещений на атом не более 7,0 об.%.

2. Твэл по п.1, отличающийся тем, что концевые детали и дистанционирующая проволока выполнены из аустенитной стали состава по п.1.

Полезная модель относится к ядерной технике и может быть использована при изготовлении тепловыделяющих элементов (далее - твэлов) для атомных реакторов на быстрых нейтронах нового поколения.

Проектируемые реакторы на быстрых нейтронах (далее - реакторы БН) нового поколения предусматривают поэтапное повышение выгорания ядерного топлива от 12 до 21% т.а. (т.а. - тяжелые атомы - характеристика величины выгорания топлива при нейтронном облучении), при котором повреждающие дозы облучения материалов в активной зоне реактора возрастают и составляют от 113 до 200 смещений на атом (с.н.а. - смещение на атом - характеристика величины повреждающей дозы при нейтронном облучении, степень повреждаемости материала), при этом изменения формы твэла, обусловленные радиационным распуханием стали, не должны достигать величин, превышающих величину предельно-допустимого формоизменения.

Поэтому к материалам для активных зон реакторов предъявляются самые высокие требования по широкому комплексу физических и механических свойств. В частности, материалы оболочек тепловыделяющих элементов должны соответствовать требованиям высокой сопротивляемости распуханию, охрупчиванию, коррозии, малоцикловой усталости и термическим ударам, длительной прочности, высокой пластичности, и структурно - фазовой стабильности. Для обеспечения надежности реакторов БН необходимо повышение радиационной стойкости материалов и изделий, размещенных в активной зоне. Полезная модель направлена на создание новой конструкции твэлов для реакторов БН новых поколений, в частности, реактора типа БН-1200.

Известен твэл реактора БН-600, оболочка которого выполнена из аустенитной хромоникелевой стали ЭП172, химический состав которой приведен в технических условиях ТУ 14-1-3723-84. Наружный диаметр и толщина оболочки твэла составляют, соответственно, 6,9 мм и 0,4 мм, а диаметр таблетки ядерного топлива - 5,95 мм.

Опыт эксплуатации реактора БН-600 с оболочками тепловыделяющих элементов из стали ЭП172 показал, что ее использование позволяет достичь выгорание топлива порядка 11,5% т.а. и повреждающих доз около 85 смещений на атом без потери герметичности твэла.

Однако наблюдаемые изменения формы твэла, обусловленные радиационным распуханием стали, достигают значительных величин, превышающих величину предельно-допустимого формоизменения, что не позволяет рекомендовать твэл такой конструкции для реакторов БН нового поколения.

Известен твэл ядерного реактора на быстрых нейтронах [патент РФ №2241266], который содержит герметизированную по торцам концевыми деталями цилиндрическую оболочку, внутри которой размещено таблетированное ядерное топливо и пружинный фиксатор топлива, а также дистанционирующий элемент, выполненный в виде проволоки, навитой по спирали на наружной поверхности оболочки. Наружный диаметр оболочки задан от 5,9 до 7,5 мм, толщина стенки оболочки выбрана от 0,25 до 0,55 мм. Оболочка такого твэла выполнена из аустенитной стали типа ЧС68 следующего состава, мас.-%: углерод 0,05-0,08, кремний 0,3-0,6, марганец 1,0-2,0, сера не более 0,012, фосфор не более 0,020, хром 15,5-17,0, никель 14,0-15,5, молибден 1,9-2,5, титан 0,2-0,5, ванадий 0,1-0,3, бор 0,002-0,005, азот не более 0,02, кобальт не более 0,02, алюминий не более 0,1, магний 0,0001-0,005, кальций 0,0005-0,005, железо остальное. Эта конструкция твэла является наиболее близкой к заявляемой полезной модели и выбрана в качестве прототипа.

Реакторные испытания и опыт эксплуатации реактора БН-600 с твэлами, оболочки которых изготовлены из стали ЧС68 показали, что ее использование позволяет достичь выгорания порядка 11,5% т.а. и повреждающих доз около 90 смещений на атом без потери герметичности твэла. Однако обусловленные радиационным

распуханием стали ЧС68 изменения формы твэла при высоких выгораниях достигают предельно допустимых величин [ $\Delta V/V=15,0\%$  объемных, где распухание - отношение изменения объема материала после облучения ( $\Delta V$ ) к объему материала до облучения ( $V$ )].

Это не позволяет рекомендовать твэл такой конструкции для проектируемого реактора БН-1200, который предусматривает выгорание ядерного топлива более 12% т.а. и достижение повреждающих доз не менее 113 смещений на атом.

Задачей, на решение которой направлена предлагаемая полезная модель, является создание твэла реактора на быстрых нейтронах типа БН-1200, обладающего повышенной радиационной стойкостью и надежностью при выгорании ядерного топлива более 12% т.а. и повреждающих дозах не менее 113 смещений на атом.

Эта задача в заявляемой полезной модели решается за счет достижения технического результата, заключающегося в повышении длительной прочности и сопротивляемости распуханию, снижении скорости ползучести и формоизменения оболочки твэла в условиях высоких доз радиационного облучения. Достижение указанных свойств при этом обеспечивается при сохранении на высоком уровне механических свойств, технологичности, свариваемости и коррозионной стойкости конструкционных материалов.

Для решения поставленной задачи твэл реактора на быстрых нейтронах содержит цилиндрическую оболочку, которая герметизирована по торцам концевыми деталями, внутри оболочки размещено таблетированное ядерное топливо и фиксатор топлива, на наружной поверхности оболочки размещена навитая по спирали дистанционирующая проволока, при этом оболочка выполнена из аустенитной стали, содержащей компоненты при следующем соотношении, мас. %:

|          |                |
|----------|----------------|
| углерод  | 0,05-0,09      |
| кремний  | 0,3-0,6        |
| марганец | 1,0-2,0        |
| сера     | не более 0,010 |
| фосфор   | 0,010-0,025    |
| хром     | 15,0-16,5      |
| никель   | 18,0-25,0      |
| молибден | 1,9-2,5        |
| титан    | 0,25-0,45      |
| ниобий   | 0,1-0,4        |
| ванадий  | 0,1-0,15       |
| бор      | 0,001-0,005    |
| церий    | 0,15 расчетное |
| железо   | остальное,     |

причем оболочка получена путем циклического нагрева, горячей и холодной деформации с гомогенизирующим отжигом перед горячей деформацией при температуре на 40-110°C ниже температуры образования боридной эвтектики, но выше температуры, при которой содержание бора в твердом растворе не менее 20 ppm ( $20 \times 10^{-4}$  мас. %), оболочка имеет при 700°C при одноосном осевом растяжении предел длительной прочности 14-15 кг/мм<sup>2</sup> при времени испытания 10000 часов и максимальную величину распухания при повреждающей дозе 96 смещений на атом не более 7,0% объемных.

В частном варианте концевые детали и дистанционирующая проволока выполнены из аустенитной стали, описанной выше.

Сущность полезной модели состоит в реализации твэла с оптимальным сочетанием свойств стали для изготовления оболочки и других конструктивных элементов твэла, которые позволяют использовать твэл заявленной конструкции для тепловыделяющих сборок реактора БН-600, БН-800 и для проектируемого реактора БН-1200.

Повышение радиационной стойкости предложенного твэла достигается за счет введения в сталь для материала оболочки трех карбидообразующих элементов - титана, ниобия и ванадия, а также за счет микродобавки бора при повышенном содержании никеля и регламентированном содержании фосфора.

Структура стали при изготовлении оболочки твэла улучшена за счет проведения дополнительных циклов нагрева и горячей деформации слитка, формирования трубной заготовки, холодной деформации заготовки с последующими термообработками и заключительной холодной деформацией. Перед проведением горячей деформации на слитке и в процессе трубного передела проводят гомогенизирующий отжиг при температуре на 40-110°C ниже температуры образования боридной эвтектики, но выше температуры, при которой содержание бора в твердом растворе не менее 20 ppm ( $20 \times 10^{-4}$  мас. %). Материал оболочки

отличается повышенным содержанием и гомогенным распределением бора в структуре стали и твердом растворе, что обеспечивает стабильные и повышенные характеристики длительной прочности, ползучести и сопротивляемость распуханию. Так при 700°C при одноосном осевом растяжении сталь имеет предел длительной прочности 14,0-15,0 кг/мм<sup>2</sup> при времени испытания 10000 часов и скорость установившейся ползучести при напряжении 14 кг/мм<sup>2</sup>, равную  $(1,0-1,1) \times 10^{-4}$  %/ч. Для достижения указанных характеристик перед проведением горячей деформации на стадии изготовления трубной заготовки и на стадии изготовления оболочки при проведении многоразовой холодной деформации проводят гомогенизацию при температурах на 40-110°C ниже температуры начала образования боридной эвтектики, но выше температуры, при которой содержание бора в твердом растворе составляет  $\leq 20$  ppm.

Радиационные свойства оболочек тепловыделяющих элементов, полученные из стали по заявляемой полезной модели в сравнении с оболочками, полученными из стали-прототипа, приведены в таблице.

| Таблица   |                             |                           |                      |                              |                                  |
|---|-----------------------------|---------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------------------|
|   | Материал<br>оболочки, сталь | Повреждающая доза, с.н.а. | Выгорание,<br>(т.а.) | Температура<br>облучения, °С | Распухание, ( $\Delta$<br>V/V),% |
| Твэл из<br>материала<br>прототипа   | ЧС68                        | 74                        | 10,7                 | 493±10                       | 7,2                              |
|   |                             | 77                        | 9,1                  | 484±6                        | 7,3                              |
|   |                             | 84                        | 9,8                  | 497±4                        | 9,9                              |
| Твэл из<br>материала<br>заявляемой<br>полезная<br>модель  | ЭК164                       | 74                        | 10,7                 | 464±17                       | 3,9                              |
|   |                             | 77                        | 9,1                  | 465±16                       | 3,9                              |
|   |                             | 84                        | 9,8                  | 499±16                       | 3,5                              |
|   |                             | 96                        | 13,2                 | 500                          | 7,0                              |
|   |                             | 104(экстраполяция)        |                      |                              |                                  |
| Примечание к таблице:<br>- методика определения распухания описана в работе М.В.Баканова, А.В.Ненахова, В.В.Чуева и др. «Контроль работоспособности реакторных сборок после эксплуатации в активных зонах БН-600. Вторая модернизация оборудования «горячей» камеры». - Известия вузов. Ядерная энергетика, №2, 2009 г., с.167-186. |                             |                           |                      |                              |                                  |

Данные таблицы показывают, что распухание оболочек твэлов по заявляемой полезной модели при сопоставимых повреждающих дозах примерно в 1,5-3 раза меньше, чем у стали-прототипа. По критериям формоизменения оболочек параметры радиационного распухания стали ЭК 164, заявляемой полезной модели, не лимитируют достижение максимальных повреждающих доз ~130 сна (экстраполяция).

Исходя из критерия предельно допустимого значения распухания ( $\Delta V/V \leq 15\%$ ) для оболочек твэлов реакторов БН видно, что заявляемая полезная модель позволяет создать тепловыделяющий элемент, обладающий повышенной радиационной стойкостью и надежностью при выгорании ядерного топлива более 12% т.а. и повреждающих дозах не менее 113 смещений на атом как в действующем реакторе БН-600, так и реакторах нового поколения БН-800 и типа БН-1200.

#### Формула полезной модели

1. Твэл реактора на быстрых нейтронах, содержащий цилиндрическую оболочку, которая герметизирована по торцам концевыми деталями, внутри оболочки размещено таблетированное ядерное топливо и фиксатор топлива, на наружной поверхности оболочки размещена навитая по спирали дистанционирующая проволока, отличающийся тем, что оболочка выполнена из аустенитной стали, содержащей компоненты при следующем соотношении, мас. %:

|          |                |
|----------|----------------|
| углерод  | 0,05-0,09      |
| кремний  | 0,3-0,6        |
| марганец | 1,0-2,0        |
| сера     | не более 0,010 |
| фосфор   | 0,010-0,025    |
| хром     | 15,0-16,5      |
| никель   | 18,0-25,0      |
| молибден | 1,9-2,5        |
| титан    | 0,25-0,45      |
| ниобий   | 0,1-0,4        |
| ванадий  | 0,1-0,15       |
| бор      | 0,001-0,005    |
| церий    | 0,15 расчетное |
| железо   | остальное,     |

причем оболочка получена путем циклического нагрева, горячей и холодной деформации с гомогенизирующим отжигом перед горячей деформацией при температуре на 40-110°C ниже температуры образования боридной эвтектики, но выше температуры, при которой содержание бора в твердом растворе не менее 20 ppm ( $20 \cdot 10^{-4}$  мас.%), оболочка имеет при 700°C при одноосном осевом растяжении предел длительной прочности 14-15 кг/мм<sup>2</sup> при времени испытания 10000 ч и максимальную величину распухания при повреждающей дозе 96 смещений на атом не более 7,0 об.%.

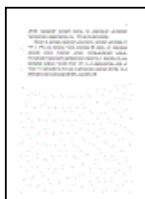
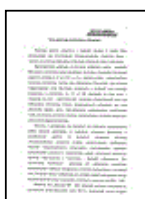
2. Твэл по п.1, отличающийся тем, что концевые детали и дистанционирующая проволока выполнены из аустенитной стали состава по п.1.

## ФАКСИМИЛЬНЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ

**Реферат:**



**Описание:**



## ИЗВЕЩЕНИЯ

**PD1K Изменение наименования, фамилии, имени, отчества патентообладателя**

(73) Патентообладатель(и):

**Акционерное общество "Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара" (RU)**

Дата внесения записи в Государственный реестр: **11.07.2016**

Дата публикации: [27.07.2016](#)

**PC1K Государственная регистрация договора об отчуждении исключительного права**

Дата и номер государственной регистрации договора: **17.04.2017 РД0221100**

(73) Патентообладатель(и):

**Акционерное общество "Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвар" (RU),  
Акционерное общество "Российский концерн по производству электрической и тепловой энергии на атомных станциях" (RU),  
Акционерное общество "Опытное Конструкторское Бюро Машиностроения имени И.И. Африкантова" (RU)**

Приобретатель исключительного права:

**Акционерное общество "Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвар" (RU), Акционерное общество "Российский концерн по производству электрической и тепловой энергии на атомных станциях" (RU), Акционерное общество "Опытное Конструкторское Бюро Машиностроения имени И.И. Африкантова" (RU)**

Лицо(а), передающее(ие) исключительное право:

**Акционерное общество "Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвар" (RU)**

Адрес для переписки:

**123060, Москва, а/я 369, АО "ВНИИНМ"**

Дата внесения записи в Государственный реестр: **17.04.2017**

Дата публикации: [17.04.2017](#)

Номер и год публикации бюллетеня: **11-2017**

Опубликовано:

**Код раздела бюллетеня: PC1K Государственная регистрация договора об отчуждении исключительного права (Дата и номер государственной регистрации договора: 17.04.2017 РД0221100)**

**Лицо(а), передающее(ие) исключительное право:**

**Акционерное общество "Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвар" (RU)**

**(73) Патентообладатель(и) (приобретатель):**

**Акционерное общество "Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвар" (RU),**

**Акционерное общество "Российский концерн по производству электрической и тепловой энергии на атомных станциях" (RU),**

**Акционерное общество "Опытное Конструкторское Бюро Машиностроения имени И.И. Африкантова" (RU)**

Следует читать: Лицо(а), передающее(ие) исключительное право:

**Акционерное общество "Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара" (RU)**

**Приобретатель(и) исключительного права:**

**Акционерное общество "Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара" (RU),**

**Акционерное общество "Российский концерн по производству электрической и тепловой энергии на атомных станциях" (RU),**

**Акционерное общество "Опытное Конструкторское Бюро Машиностроения имени И.И. Африкантова" (RU)**

Дата внесения записи в Государственный реестр: **12.09.2018**

Дата публикации и номер бюллетеня: [12.09.2018](#) Бюл. №26